

Propiedades físicas básicas de una lámpara de Na de alta presión a diversos voltajes y frecuencias

Physical basic properties of a High Pressure Na lamp at several voltages and frequencies.

A. Martín¹, J.C. Alvarez², C. Blanco², J. Viera², N. Bordel¹

1. Departamento de Física. Facultad de Ciencias. Universidad de Oviedo. Avda. Calvo Sotelo s/n, 33007. España. antmartin@lvcos.es
2. Departamento de Ingeniería Eléctrica. Universidad de Oviedo. Campus de Viesques, sede 3. Gijón 33204. España.

RESUMEN:

En este trabajo se estudia la influencia que los parámetros eléctricos que controlan el funcionamiento de una lámpara de Na de alta presión (HPS) tienen sobre la temperatura electrónica y la presión en el interior del tubo de descarga. Los parámetros considerados son la frecuencia y el voltaje de la señal. Las frecuencias de trabajo han sido los 50 Hz de la red eléctrica, 63 KHz y 40 KHz, frecuencia a la que se produce una resonancia acústica. Los voltajes seleccionados están comprendidos entre 25 y 80 V rms.

Los resultados muestran que la presión de vapor de Na en el tubo de descarga presenta una fuerte dependencia con el voltaje entre electrodos. La dependencia de la presión con la frecuencia de trabajo se pone de manifiesto a voltajes superiores a 60 V siendo mayor la presión cuanto más alta es la frecuencia.

Palabras clave: lámpara de sodio alta presión, espectro emisión, presión de vapor, temperatura electrónica.

ABSTRACT:

The electronic temperature and the sodium vapour pressure inside the discharge tube of a high pressure sodium lamp (HPS) have been determined. Such properties will be affected by the electric parameters such as the frequency and the signal voltage. The selected frequencies are 50 Hz, 63 KHz and 40 KHz. The last one presents an acoustic resonance. The voltages vary between 25 and 80 V rms.

The results show that the Na vapour pressure has a strong dependence with the voltage between the electrodes. Besides, the higher the frequency the higher the vapour pressure specially at voltages higher than 60 V.

Key words: high pressure sodium lamp, emission spectrum, vapour pressure, electronic temperature.

REFERENCIAS Y ENLACES.

- [1] John F. Waymouth, "Electric discharge lamps", Monographs in modern electrical technology, The Massachusetts Institute of Technology, 1971
- [2] J.J de Groot and J.A.J.M. van Vliet, "The high-pressure sodium lamp". MacMillan Education LTD, 1986
- [3] Chr. Meyer and H. Nienhuis, "Discharge lamps", Philips Technical Library, Kluwer Technische Boeken B.V.

- [4] J.C. Antón, C. Blanco, F. Ferrero, J.C. Viera, N. Bordel, A. Martín, G. Zissis, "Acoustic Resonance Band Detection Workbench for HID Lamps", IEEE 2004, 0-7803-8487-3.
- [5] Jürgen Mentel, "Experimental Investigation of Electrodes for High Pressure Discharge Lamps", IEEE 2000, 0-7803-6404-X
- [6] Wiese, W.L., Smith, M.W. and Miles, B.M., "Atomic transition probabilities". National Stand. Ref. Data Ser., Nat.Bur.Stand. (USA) 22, vol. 2, pp. 2-8 (1969)
-

1.- Introducción.

Las lámparas de sodio de alta presión, HPSL, son un tipo de lámparas de descarga cuyo uso está muy extendido debido a su eficiencia de conversión energética: entre un 25 % y un 30 % de la energía se transforma en energía luminosa [1]. Las HPSL se basan en una descarga eléctrica, descarga de arco, en el vapor del sodio. Los electrones son acelerados por el campo eléctrico existente entre los electrodos, excitando los átomos de sodio que emiten, entre otras, las características líneas resonantes D a 589.0/589.6 nm. Debido a la alta densidad del sodio en la lámpara, el contorno de las líneas D se ensancha y, además, tiene lugar una importante autoabsorción en dichas líneas [2]. Este fenómeno es característico de las HPSL, y no se da en las correspondientes lámparas de sodio de baja presión ya que la autoabsorción dependerá fuertemente de la presión de vapor de sodio.

Desde un punto de vista eléctrico, los balastos comerciales, o dispositivos que permiten el encendido de la lámpara, funcionan a la frecuencia de red, 50 Hz, y a un voltaje que llega a ser constante cuando la emisión de la lámpara se va estabilizando. Sin embargo, el empleo de balastos electrónicos modificados para trabajar a altas frecuencias, podrían modificar en parte las propiedades físicas de la descarga producida, y por tanto el espectro de emisión.

Sin embargo la frecuencia de trabajo de la lámpara debería escogerse con cuidado ya que las condiciones que se producen en el interior del tubo debidas al arco de descarga, pueden dar lugar a la aparición de ondas acústicas si la frecuencia de trabajo es la frecuencia resonante para dichas ondas [3]. Estas oscilaciones distorsionarían la descarga, pudiendo provocar un cambio en la emisión de la lámpara. Además estas ondas pueden dañar seriamente los electrodos, y con ello acortar la duración de una lámpara estándar [2].

En este trabajo se realiza un estudio de la influencia que la frecuencia de trabajo de la lámpara y el voltaje aplicado entre los electrodos tiene en la

emisión resultante, así como en la presión de vapor y en la temperatura electrónica de excitación. Las frecuencias seleccionadas se corresponden con la frecuencia de red, 50 Hz y dos valores para altas frecuencias, 63 KHz y 40 KHz. Esta última ha sido escogida por haberse detectado una resonancia acústica [4], de este modo se pretende determinar la influencia que tiene dicha resonancia en la emisión resultante.

2.- Experimental

Las lámparas de sodio utilizadas han sido lámparas de alta presión modelo SON-T Plus 70 W de Philips.

Se han empleado dos sistemas experimentales, uno de ellos ha sido utilizado para los estudios de estabilización de las descargas y el segundo para los estudios de la presión de vapor de Na y de la determinación de las temperaturas cuando la descarga ya está estabilizada. La parte electrónica para el control de las lámparas es común en los dos sistemas experimentales.

Para el encendido de las lámparas y el control de su funcionamiento se utilizaron los siguientes dispositivos:

- Osciloscopio modelo TDS 3012 de Tektronix
- Fuente de alimentación de corriente continua 0-30 V, 2.5 A, modelo 613 de Velleman.
- Autotransformador. Regulador del voltaje de la red eléctrica, 0-220 V, necesario para el funcionamiento de los balastos electrónicos.
- Balastos electrónicos para el encendido de las lámparas a las distintas frecuencias de trabajo

El sistema experimental para llevar a cabo las medidas sobre la estabilización de las lámparas consistió en un espectrógrafo de campo plano modelo HR460 de Jobin Yvon de 0,5 m de longitud focal y red holográfica plana de 2400 líneas/mm. Como detector se acopló una CCD (charge coupled device) modelo LN/CCD 1340/100 de Princeton

Instruments con un controlador (modelo ST138, Princeton Instruments) y tarjeta de adquisición de datos DataScan DS1010 Jobin Yvon – Spex. Este sistema permite adquirir espectros en un intervalo del orden de unos 20 nm de modo simultáneo. Este tipo de adquisición simultánea en un intervalo de longitudes de onda es fundamental para llevar a cabo el estudio de la estabilización puesto que es necesario registrar las rápidas modificaciones en el espectro emitido, especialmente en los instantes próximos al momento del encendido. A modo de ejemplo se muestran en la Figura 1 los espectros obtenidos en el intervalo 580-590 para la lámpara de Na a tres tiempos desde el encendido de la lámpara: (a) 10 s, (b) 50 s y (c) 2 min.

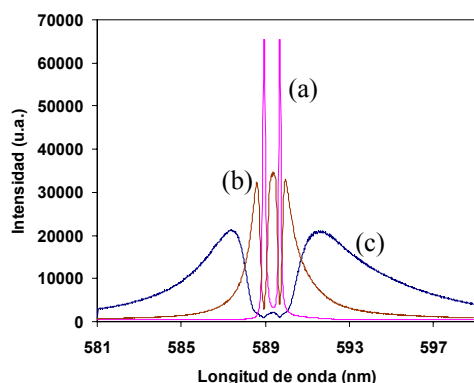


Fig. 1.- Espectro de la lámpara de Na de alta presión en el intervalo 580-599 nm tomado a tres tiempos desde el encendido de la lámpara: (a) 10 s, (b) 50 s, (c) 2 min.

Para la realización de las medidas con resolución espacial se utilizó un monocromador modelo Triax 180 de Jobin Yvon, de 0,19 de distancia focal y redes de difracción de 1200 líneas/mm y 2400 líneas/mm con un fotomultiplicador modelo R928S de Hamamatsu y controlador SpectrACQ2 de Jobin Yvon. La luz procedente de la lámpara era recogida y llevada a la rendija de entrada del monocromador mediante una fibra óptica de 1 mm de diámetro con terminaciones SMA y con respuesta en el visible-infrarrojo. El extremo de la fibra óptica por el que se introducía la luz se fijó a un desplazador horizontal y vertical de Coherent. La determinación de la eficiencia del sistema experimental con la longitud de onda se realizó utilizando una lámpara de wolframio calibrada de 45 W, modelo 63358 de Oriel conectada a una fuente de alimentación radiométrica modelo 68831 de Oriel.

3.- Resultados y discusión.

3.2.- Estabilización de la lámpara.

Se adquirieron espectros en seis regiones diferentes del espectro de emisión de la lámpara de sodio de alta presión. Estas regiones comprendidas entre 450 y 625 nm se eligieron de acuerdo a las

longitudes de onda de las transiciones del Na. En cada una de las regiones seleccionadas se adquirieron espectros con una frecuencia de 1 segundo durante los primeros 10 minutos desde el instante del encendido de la lámpara, y se aumentó el tiempo entre adquisiciones a medida que los cambios observados en los espectros eran cada vez más lentos. El tiempo total de medida fue, aproximadamente, 50 minutos. Este procedimiento de adquisición se siguió a las tres frecuencias de trabajo. Cualitativamente, la evolución temporal de la emisión de la lámpara es muy similar a las tres frecuencias, tanto en la región del “self-reversal” (Fig. 1) como en el resto de las líneas emitidas. Los notables cambios que sufre la zona del “self-reversal” se ponen de manifiesto en la Fig. 1, las líneas resonantes del Na 589,0 y 589,6 nm se observan claramente en los instantes iniciales del encendido de la lámpara (a). A medida que el tiempo transcurre estas líneas se ensanchan y dejan de estar resueltas, además, comienza a hacerse evidente la autoabsorción observándose unos mínimos coincidentes con las longitudes de onda de las líneas resonantes (b). Si el tiempo desde el encendido sigue aumentando, tanto el ensanchamiento de las líneas como la autoabsorción siguen aumentando observándose finalmente en el espectro dos anchas bandas (c). La separación de los máximos de estas bandas incrementa con el tiempo hasta que la lámpara finalmente se estabiliza. En la Fig. 2 se muestra como varían con el tiempo la posición en la que se encuentran los máximos así como la separación entre ambos en los espectros obtenidos con la lámpara funcionando a 63 kKz. La separación entre los máximos incrementa rápidamente durante los primeros minutos de funcionamiento de la lámpara, seguido de una pequeña disminución pasando a estabilizarse a aproximadamente diez minutos desde el encendido.

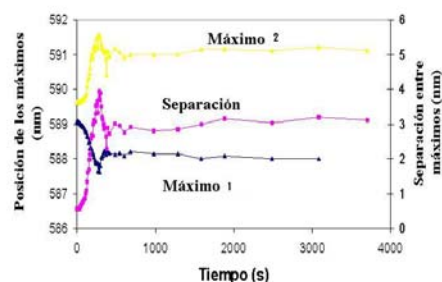


Fig. 2.-Evolución temporal de la posición de los máximos del self-reversal y de su separación (frecuencia de trabajo: 63 kHz).

La evolución de las demás líneas presentes en el espectro es similar y a modo de ejemplo se muestra en la Fig. 3 la variación de la intensidad y de las anchuras de las líneas 568.26 y 568.22. Como puede observarse, tanto las intensidades como las anchuras sufren un fuerte crecimiento durante los primeros 6

minutos. Transcurrido este tiempo las anchuras se mantienen prácticamente constantes, sin embargo, las intensidades siguen con una tendencia creciente con el tiempo.

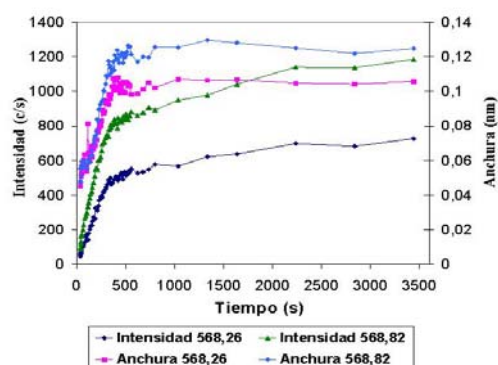


Fig.3.- Evolución temporal de las intensidades de emisión y de las anchuras de las líneas 568.26 y 568.82 nm (frecuencia de trabajo: 40 KHz).

Se ha comprobado que la estabilización que se observa en la emisión de la lámpara no coincide con la tiempo de estabilización del voltaje existente entre los electrodos siendo este último más largo. Además, cuanto mayor sea el voltaje entre electrodos fijado, mayor es el tiempo que tarda en alcanzarse dicho valor, así por ejemplo, cuando el voltaje entre los electrodos es superior a 65 V, el tiempo necesario para alcanzar dicho valor, con la consiguiente disminución en la fluctuación de las intensidades de emisión era del orden de los 45 minutos.

3.2.- Determinación de la presión y de la temperatura. Medidas con resolución espacial.

Con el objetivo de determinar las similitudes y diferencias de las lámparas de Na funcionando a las tres frecuencias bajo estudio, se determinaron la presión de vapor de Na y las temperaturas de excitación electrónica en las lámparas una vez estabilizadas. Además, se consideró como un parámetro a tener en cuenta el voltaje entre electrodos por lo que éste se fue fijando a diferentes valores entre 25 V rms (el mínimo necesario para mantener encendida la lámpara) y el máximo que los balastro podían proporcionar (88 V rms para 50 Hz, y 80 V rms para 40 y 63 kHz).

También, con el fin de determinar si se podía encontrar alguna distribución espacial de la presión o de la temperatura en la lámpara se realizaron medidas con resolución espacial. En la Fig. 4 puede verse un dibujo del tubo de descarga de la lámpara. Se trata de un tubo de 6 cm de longitud, de aluminio policristalino, y en donde se encuentra contenido el sodio y otros gases. Los electrodos tienen una extensión de 1 mm, por lo que la longitud real del tubo donde se produce la descarga es de 4 cm [2],[5].

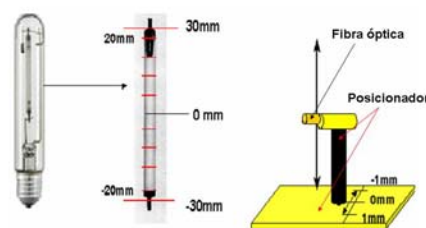


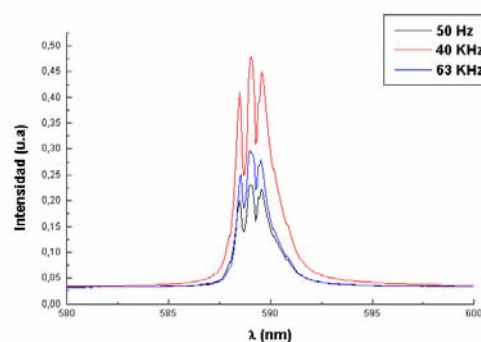
Fig. 4.- Disposición del tubo de descarga y de la fibra óptica para las medidas con resolución espacial.

La fibra óptica está colocada en un posicionador con movimiento horizontal y vertical. Las posiciones verticales escogidas van desde -20 mm hasta 20 mm, en intervalos de 5 mm. En sentido horizontal se consideraron tres posiciones; una en la que la fibra óptica está enfrentada al eje del tubo de descarga (0 mm) y las dos correspondientes a desplazar 1 mm la fibra óptica en los dos sentidos horizontales.

3.2. a). Estudio de la presión de vapor del sodio.

La presión de vapor de Na en la lámpara se puede determinar de la medida de la separación entre los máximos del “self-reversal”[2]. En la Fig. 5 se muestran los espectros obtenidos en esta región a las tres frecuencias y a un voltaje entre electrodos de 70 V rms (Fig. 5a) y con un voltaje de 40 V rms en la Fig. 5b. Estos espectros corresponden a una posición de la fibra óptica centrada en el tubo de descarga (0,0).

a)



b)

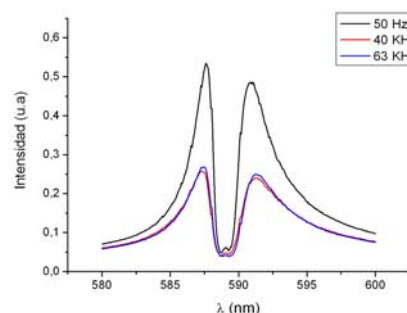


Fig. 5 Espectro en la región del “self-reversal” a las tres frecuencias. Voltaje entre electrodos: a) 40 V rms b) 70 V rms

A 40 V (Fig. 5a) se observa que la autoabsorción se produce a las longitudes de onda de las líneas resonantes dando lugar a que donde deberían estar los máximos de dichas líneas aparezcan dos mínimos. Las separaciones entre el máximo de la izquierda y el de la derecha son muy parecidas a las tres frecuencias lo que indica que las presiones de vapor también serán similares. Cuando el voltaje de trabajo son 70 V rms la autoabsorción es mayor y da lugar a que toda la zona central que se observaba a 40 V esté completamente autoabsorbida. En este segundo caso las separaciones entre los máximos a 40 kHz y a 63 kHz son muy parecidas y mayores que a 50 Hz.

La influencia que el voltaje tiene en el aspecto que toma la región del “self-reversal” y por tanto en la presión de vapor en la lámpara se observa en la Fig. 6 para la frecuencia de 40 KHz.

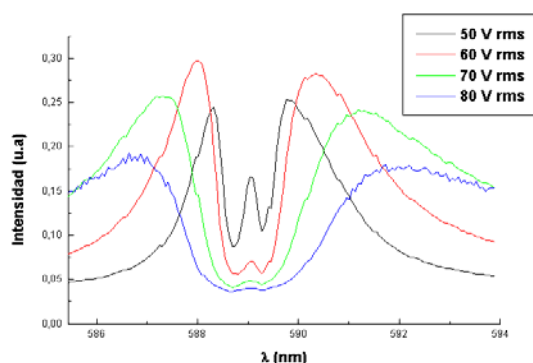


Fig. 6.- Región del “self-reversal” a 40 KHz para varios voltajes de trabajo.

Como se puede apreciar en la Fig. 6, a mayor voltaje aplicado mayor es la separación entre los máximos del self-reversal y por tanto mayor es la presión [1]. De las figuras anteriores también se pone de manifiesto que la dependencia con el voltaje es mucho más pronunciada que con la frecuencia de la señal, y que por lo tanto quien realmente va a influir en la presión del vapor de sodio es el voltaje aplicado a la lámpara.

Para determinar la presión de vapor de Na se utiliza una expresión semiempírica que relaciona la presión del interior del tubo de descarga de la lámpara (p_{Na}) con el radio de dicho tubo (R) y la separación entre los máximos de la autoabsorción ($\Delta\lambda$) [2]:

$$p_{Na} \approx \frac{2.7 \pm 0.5}{\sqrt{R}} \Delta\lambda \quad (1)$$

donde la presión está dada en kPa, el radio del tubo de descarga es 2.025 mm y la separación entre los máximos del selfreversal está en nm.

De esta forma midiendo la separación entre dichos máximos a diversos voltajes de alimentación de la lámpara se obtienen las presiones correspondientes.

Se obtuvieron los espectros correspondientes a esta región del “self-reversal” en diferentes posiciones verticales de la fibra óptica (entre -20 mm y +20mm) y se midieron las separaciones entre los máximos. La Fig. 7 muestra los resultados obtenidos con la lámpara a 40 KHz y a dos voltajes (35 V rms y 55V rms).

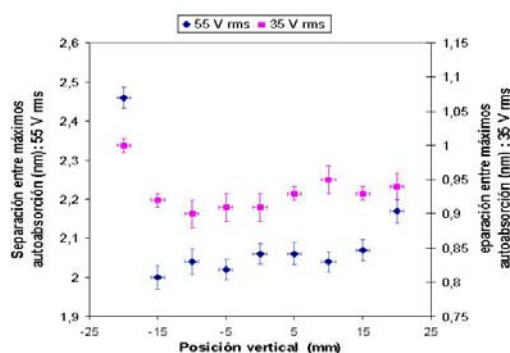


Fig. 7- $\Delta\lambda$ según la posición vertical del tubo de descarga a 55 y 35 V rms. Frecuencia de la lámpara: 40 KHz

Como se puede observar en la Fig. 7, en la posición de -20mm, es decir la posición del cátodo [5], hay una fuerte subida de $\Delta\lambda$. Puntualmente se trataría de una zona de alta presión, pues es donde tiene lugar la descarga de arco. Los puntos que presentan menos fluctuaciones son los comprendidos entre -10 y 10 mm, y en toda esta región puede considerarse que la separación entre los máximos es la misma. También se puede ver que a menor voltaje, menores son las fluctuaciones. Esto es debido a que a voltajes muy bajos la presión es muy pequeña y localmente, en la posición de los electrodos las diferencias son muy pequeñas.

Una vez medidas estas separaciones a los diferentes voltajes y frecuencias mediante la expresión (1) se obtienen las presiones de vapor de Na correspondientes. A la vista de los resultados mostrados en la Fig. 7, el valor de la presión final para cada voltaje y frecuencia se ha obtenido del promedio de los resultados obtenidos en las diferentes posiciones de medida entre -10 y 10mm. Los presiones calculadas para cada voltaje y frecuencia se muestran en la Fig. 8.

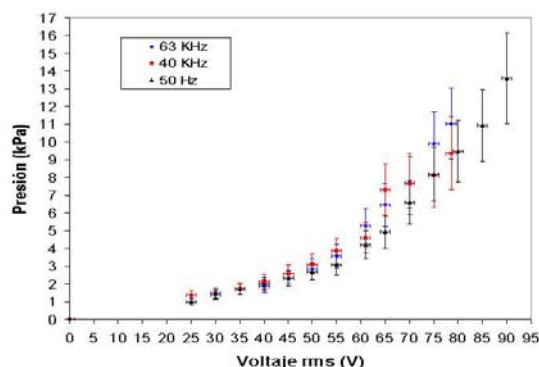


Fig. 8.- Variación de la presión con el voltaje rms a distintas frecuencias.

Examinando esta última gráfica se comprueba que hasta 55 V rms las presiones son muy similares (teniendo en cuenta los márgenes de error). A partir de este punto, a 63 KHz la presión es mayor, siguiendo en orden descendente 40 KHz y 50 Hz. Sin embargo, entre 55 y 70 V rms la presión a 40 KHz sufre un cambio en su evolución. Esto puede verse en la Fig. 9.

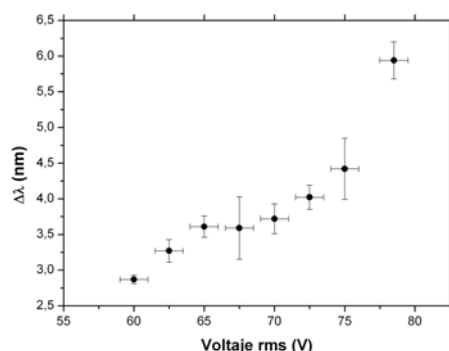


Fig.9- Evolución de $\Delta\lambda$ a 40 KHz entre 60 y 80 V rms.

Al estudiar más detalladamente la separación entre los máximos del “self-reversal”, en el intervalo comprendido entre 65 y 80 V rms, la evolución de dicha separación (o lo que es lo mismo la evolución de la presión del vapor de sodio) sufre una pequeña desviación respecto a la tendencia inicial. Este cambio está relacionado con la aparición de las resonancias acústicas que están presentes a la frecuencia de trabajo de 40 KHz, y que a menores voltajes se puede decir que sus manifestaciones no son detectables. Una resonancia acústica, al ser una onda de presión provoca oscilaciones en la descarga de arco observable a simple vista a unos 80 V, aunque su efecto sobre la emisión de luz estaba presente ya a voltajes menores.

En la tabla 1, se recogen los valores de la presión obtenidos a tres voltajes diferentes y a las tres frecuencias.

TABLA I

Presiones (kPa) obtenidas a varios voltajes y frecuencias.

	50 V rms	70 V rms	80 V rms
50 Hz	2.70	6.59	9.48
40 KHz	3.11	7.64	9.38
63 KHz	2.84	7.73	11.03

Como aparece reflejado en la tabla, las presiones aumentan con el voltaje aplicado y con la frecuencia, aunque a 40 KHz, y posiblemente debido a las resonancias acústicas, la tendencia cambia respecto de la observada a las otras dos frecuencias.

3.2.b). Estudio de la temperatura electrónica de excitación.

Para la determinación de la temperatura electrónica se considera que la lámpara de Na de alta presión se encuentra en equilibrio termodinámico [2]. Bajo esta consideración el número de átomos en un estado N_i sigue una distribución de Maxwell Boltzman:

$$N_i \propto g_i e^{-E_i/kT} \quad (2)$$

donde g_i es el peso estadístico de los estados $(2j+1)$, E_i la energía del nivel superior de la transición (eV), k es la constante de Boltzmann, y T la temperatura electrónica de excitación.

Por otra parte, como es bien sabido se puede escribir el número de estados de un determinado nivel, N_i , como el cociente entre la intensidad de la línea de la transición desde el nivel escogido i a un nivel j , I_{ij} , y la probabilidad de esa transición, A_{ij} :

$$N_i = \frac{I_{ij}}{A_{ij}} \quad (3)$$

De (2) y (3) se obtiene:

$$\ln\left(\frac{I_{ij}}{A_{ij}g_i}\right) = -\frac{E_i}{kT} \quad (4)$$

Esta ecuación representa a una recta de pendiente $-1/kT$. Por tanto, de la medida de las intensidades de las líneas junto con los datos existentes en la bibliografía [6] para las probabilidades de transición y las energías de los niveles superiores de las transiciones bajo consideración midiendo las intensidades asociadas a las transiciones es posible obtener las temperaturas electrónicas correspondiente a las condiciones en que se ha producido la emisión.

Las transiciones consideradas en este trabajo para la determinación de la temperatura electrónica se indican en el diagrama de la Fig. 10, todas ellas correspondientes a las líneas observadas en los

espectros en la región bajo estudio desde 450 nm hasta 600 nm.



Fig.10.- Transiciones atómicas seleccionadas.

Las intensidades medidas en los espectros fueron corregidas por la eficiencia del sistema experimental con la longitud de onda. Esta eficiencia se determinó utilizando una lámpara cuya radiancia espectral está calibrada.

Las medidas de las intensidades de las líneas de emisión se realizaron para las tres frecuencias de trabajo, y a tres voltajes diferentes: 50, 60 y 70 V rms. Además, se obtuvieron los espectros en diferentes posiciones de la fibra óptica siendo los puntos seleccionados desde -20 a 20 mm, con intervalos de 5 mm en el eje vertical. Se consideraron también tres posiciones horizontales: -1mm, 0 (central), 1mm. De modo general se puede decir que no se observan diferencias significativas en las temperaturas obtenidas en función de la posición horizontal fijada. En la Fig. 11 se muestran las temperaturas obtenidas a diferentes posiciones verticales y a las tres frecuencias de trabajo. La diferencia de potencial entre electrodos en este caso fueron 60 V rms (a las tres frecuencias) y la posición horizontal, la designada como 0 mm.

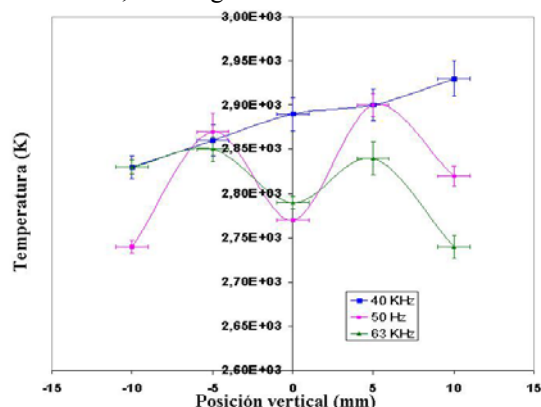


Fig.11.-Distribución de temperaturas a 50 Hz, 40 y 63 KHz, según el eje vertical y fijada la posición horizontal en el centro a 60 V rms.

Como se puede ver, en la zona central entre 10 mm y -10 mm las temperaturas obtenidas aunque muestran algunas oscilaciones se encuentran entre 2750 y 2900 K. Esta es una posible distribución de las que se podrían obtener, mostrando claramente las fuertes fluctuaciones que se encuentran para las temperaturas. Si queremos dar un valor “medio” de la temperatura, se tomará el de la posición central, horizontal y vertical, y se harán medidas en esa posición con el fin de comparar a partir de una referencia fija. La Fig. 12 muestra la evolución con el voltaje entre electrodos (entre 45 y 90 V rms) de las temperaturas correspondientes a la posición central de la fibra óptica a las tres frecuencias bajo estudio. Como se puede ver la temperatura aumenta con el voltaje aplicado, de una manera parecida para las tres frecuencias. A 40 KHz y 63 KHz, las temperaturas son similares, observándose que las dos distribuciones se van cruzando. Las temperaturas obtenidas a 50 Hz son ligeramente inferiores que las obtenidas al mismo voltaje pero a alta frecuencia.

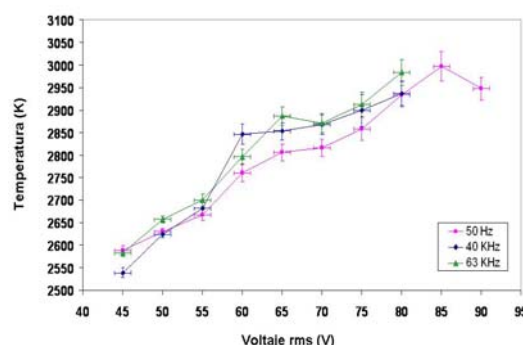


Fig. 12.- Evolución de la temperatura en el centro de la lámpara en función del voltaje rms aplicado a diferentes frecuencias

En resumen, la temperatura de excitación electrónica presenta una fuerte dependencia con el voltaje entre electrodos pero muy pequeña con la frecuencia de trabajo de la lámpara. Por ejemplo a 65 V rms, la diferencia entre las tres frecuencias es únicamente de 84 K, y sin embargo la diferencia de temperaturas entre trabajar a 45 V y 75 V rms es de 327 K (a 63 KHz). En la siguiente tabla se recogen algunos valores de temperaturas obtenidas:

TABLA II

Temperaturas obtenidas a varios voltajes y frecuencias.

	50 V rms	60 V rms	70 V rms
50 KHz	2631 K	2760 K	2816 K
40 KHz	2625 K	2847 K	2868 K
63 Hz	2657 K	2797 K	2871 K

4.-Conclusiones.

Se ha estudiado la emisión de una lámpara de Na de alta presión trabajando a tres frecuencias, siendo las frecuencias seleccionadas 50 Hz, 40 KHz (frecuencia a la que hay resonancia acústica) y 63 KHz.

Los análisis realizados sobre el tiempo de estabilización de la emisión de las lámparas han mostrado que no existen diferencias significativas entre las tres frecuencias, bien con resonancias acústicas o sin ellas, siendo dicho tiempo de unos 8 minutos.

Por otro lado, las presiones obtenidas a diferentes frecuencias tienen una evolución muy similar con el voltaje eficaz aplicado, siendo ligeramente superior cuanto mayor es la frecuencia. Hasta unos 55 V rms, las presiones son prácticamente iguales a las tres frecuencias. Por encima de este voltaje comienzan a notarse diferencias significativas siendo la presión mayor cuanto mayor es la frecuencia.

La evolución de la presión a 40 KHz, a partir de 60 V rms, se desvía un poco de su comportamiento inicial, y esto puede ser debido a que a este voltaje las resonancias acústicas empiezan a hacerse notar. Visualmente, las oscilaciones de la descarga se notaban a unos 78 V rms.

La temperatura de excitación electrónica no muestra una dependencia clara con la frecuencia de trabajo de la lámpara aunque se obtienen valores ligeramente inferiores a 50 Hz en comparación con las altas frecuencias.

4.-Agradecimientos.

Los autores de este trabajo agradecen a la *fundación para el fomento en Asturias de la investigación científica aplicada y tecnológica*, FYCIT su ayuda económica a través del proyecto PB-TBI01-09C2